

第 23 回：「黄砂と共に飛来する越境化学物質」—水環境と健康に対する影響を考える—

[講演資料集のお申込みはこちら](#)

開催日：2014 年 8 月 8 日（金）

会 場：地球環境カレッジホール（東京会場及び大阪会場）

開催趣旨：

微小粒子状物質（PM_{2.5}）の中国からの飛来報道以来、越境汚染に対する関心が高まっています。日本には、偏西風によって黄砂、光化学スモッグなどの化学物質、鉛、カドミウムなどの有害重金属が運ばれ、これらの汚染物質は大気を汚染するだけでなく、雨や雪といっしょに地表に落ちて、土壌や湖、河川も汚染します。このように日本ではアジアからの越境汚染が増大し、PM_{2.5} の環境濃度にも大きな影響を与えていると考えられていますが、離島や山岳域での観測、地上観測ネットワークデータや衛星観測データの解析などによって汚染の由来を解析するとともに、化学輸送モデルを使って越境汚染影響を評価することによって、その実態の一部が明らかになりつつあります。

本市民セミナーでは、当該分野の第一人者の先生方のご協力をいただき、越境汚染物質による水環境と健康に対する影響に関する情報の提供を目的として開催しました。具体的には、微量な汚染物質による健康影響について京都大学高野先生、中国での室内汚染および交通起源の沿道大気汚染を考慮した PM_{2.5} 曝露量推計について京都大学倉田先生、中国大陸からの石炭燃焼由来微量元素の越境汚染評価について静岡県立大学坂田先生、中国大陸から排出される化学物質の日本周辺海域への越境移動について北九州市立大学門上先生、海洋漂流プラスチック中の化学物質の存在・分布と海洋生物への移行について東京農工大学高田先生にご講演いただきました。

なお、本セミナーは平成 26 年度科学研究費補助金（研究成果公開促進費）「研究成果公开发表（B）」の助成を受け、また、テレビ会議方式により通信ケーブルで繋いで東京と大阪で同時に開催しました。

講演タイトル・主旨（講師／所属（当時））：

○ 汚染物質は私たちにどう影響するの？

—微量な汚染物質による健康影響—

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 高野 裕久

粒子状物質は、大気中を浮遊する粒子状の物質である。その粒径は様々で、粒径 10 μm 以下の粒子を PM₁₀、粒径 2.5 μm 以下のより微小な粒子を PM_{2.5} と呼称している。粒子の大きさにより、その由来や構成、性質や影響が異なることも知られており、一般には、粒径が 2.5-10 μm 程度の比較的大きな粒子は、土壌や海塩の成分といった自然に由来するものが多いと言われている。例えば、黄砂はこの粒径に属する

ものが多い。一方、粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の $\text{PM}_{2.5}$ は、様々な燃焼、特に、化石燃料の人為的な燃焼を発生源とする場合が多く、燃料燃焼に由来するため、それらに含まれていた金属や炭化水素、その酸化物や不完全燃焼成分、イオン等、非常に多くの物質を含むことも知られている。もちろん、その中には、人や生物への有害性が確認されている物質、例えば、ある種の金属や芳香族炭化水素等も含まれている。旧来のディーゼルエンジン自動車が排出していた $\text{PM}_{2.5}$ (diesel exhaust particles: DEP) を例にとると、一般には、元素状の炭素を中心に持ち、その周囲や内部に、金属や炭化水素等、非常に多くの物質を含む。いわば、粒子と化学物質の複合体と言うこともできる。他の由来の $\text{PM}_{2.5}$ についても、基本的な構成はほぼ同様と想定されるが、発生源や燃焼の様式、その後の二次的な化学反応等により、構成成分やその比率は異なることとなる。しかし、 $\text{PM}_{2.5}$ は、様々な物質を含み、少なくともその一部には有害性が確認されていることから、また、より小さいが故に、吸気により肺の深部に容易に達し、ある程度の大きさのものはそこに沈着することが確認されていることから、自然に由来することが多く、かつ、鼻や上部の気道で捕捉されやすいより大きな粒子に比較し、健康影響をきたしやすいのではないかと危惧されている。

PM_{10} や $\text{PM}_{2.5}$ については、欧米を中心に、数多くの疫学的報告が提出されている。統計学的に、 PM_{10} や $\text{PM}_{2.5}$ の上昇と相関して増加・増悪をきたす健康影響として、全死亡率、呼吸器系や循環器系の疾患による死亡率、それらの疾患の増悪、中でも、気管支炎や気管支喘息の増悪、アレルギーに関わる疾患や症状の増悪等が挙げられている。疫学的な研究は、統計学的手法により因果関係を推定するが、そういった事象が生物としての人間に実際に起こりうるのか否かについて、生物学的妥当性を検証するために、数多くの実験的研究も実施されてきた。

現段階では、特に、 $\text{PM}_{2.5}$ に感受性が高いと考えられる呼吸器系、循環器系について、影響を来たと想定されるメカニズムとして、以下が想定されている。

呼吸器系

- 1) 気道や肺に炎症反応を誘導し、より高濃度な曝露の場合、肺障害が発現する。
- 2) 気道の抗原反応性を増強し、喘息やアレルギー性鼻炎を悪化させる。
- 3) 呼吸器感染の感受性を増加する。

循環器系

- 1) 呼吸器刺激や自律神経機能への影響等を介し、不整脈等、心機能に変化が生じやすくする。
- 2) 生理活性物質や過酸化物の増加等を起こし、血管系の構造変化を促進する。
- 3) 血小板や血液凝固系の活性化、血栓形成の誘導等を介し、血管狭窄性病変を起こしやすくし、心臓に直接的、間接的悪影響を及ぼす。

本講演では、 $\text{PM}_{2.5}$ 、ディーゼル排気、黄砂をはじめとする大気汚染物質を含む環境汚染物質が、比較的微量でも、生活環境病（気管支喘息やアトピー性皮膚炎をはじめとするアレルギー疾患や感染症に関連する病態）とともに生活習慣病をも増悪する可能性があることを紹介する。

○ 中国では何が起きているのか？

—中国での室内汚染および交通起源の沿道大気汚染を考慮した PM_{2.5} 曝露量推計—

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 倉田 学児

2013年1月、北京市での深刻な大気汚染が伝えられたことに端を発した PM_{2.5}に関する報道は、すぐに中国他都市での同様の深刻な汚染の状況や、日本への越境輸送問題へと関心が拡がり、PM_{2.5}対策のマスクや空気清浄機が飛ぶように売れ、外出自粛のための暫定基準まで設定されるに至った。

2013年のデータを解析してみると、決して急に PM_{2.5}やその前駆体物質の排出量が急増した訳ではなく、例年よりも中国大陸で風が弱く高濃度になる日が多かったものの、前年までと比べて、突出して高濃度であった訳でもなかった。社会問題化の主な原因は、北京市内の米国大使館で2008年から測定されていた PM_{2.5}濃度が2011年の年末から Twitter で即時に配信され、簡単にアクセスできるようになったり、北京市も観測態勢を整備して、大気汚染の状況を公開するようになるなど、汚染の実態が数値として把握されるようになったことにある。また日本でも2009年に環境基準が設定されて、徐々に常時観測地点数が増加しており、国内の濃度分布の状況が把握できるようになってきたことも関係しているだろう。

幸い、このような騒動から、中国の主要都市で恒常的に日本の環境基準や WHO のガイドラインの10倍以上の PM_{2.5}による汚染が生じていることや、日本でも中国大陸からの越境輸送の寄与が環境基準値に匹敵する規模で運ばれてきていることが明らかとなった。しかし、依然として、これらの PM_{2.5}の発生源や生成メカニズム、長距離越境輸送の仕組み、それらによる健康影響の実態などには、不明な部分も大きい。

本講演では、中国での PM_{2.5} およびその前駆体物質の排出量について、特に交通起源と家庭起源に着目して概観するとともに、化学輸送モデルを利用した東アジアスケールの輸送シミュレーションの結果から、PM_{2.5}の越境輸送の状況についても考察をする。また、中国国内での健康影響の推計についても研究の取り組みを紹介する。

○ 汚染物質は本当に日本に届いているの？

—中国大陸からの石炭燃焼由来微量元素の越境汚染評価—

静岡県立大学食品栄養科学部環境生命科学科 坂田 昌弘

中国大陸の東端に位置するわが国では、中国をはじめとする東アジア諸国の目覚ましい発展に伴って排出される大気汚染物質による環境汚染が懸念されている。特に2013年1~2月にかけて、北京市内のいくつかの地点で PM_{2.5}の濃度が重度汚染 (250~500 $\mu\text{g m}^{-3}$) のレベルを超えていることが大々的に報道され、西日本で一時的に高濃度の PM_{2.5} が観測されたことから、この問題に対する市民の関心が急速に高まってきた。PM_{2.5}には、有害性の高いヒ素、カドミウム、鉛等の微量元素が高濃度で含まれている。中国では、一次エネルギー消費に占める石炭の割合が70% (2010年) と高く、その消費量は過去10年間 (2000~2010年) で2.4倍にもなっている。石炭中には上記の微量元素が比較的多量に含まれることから、わが国へのそれらの越境輸送に及ぼす中国での石炭燃焼の寄与は大きいことが予想される。講演者らは、中国からの石炭燃焼由来微量元素のトレーサーとして、ホウ素同位体が有効であることを見出し、長崎県松浦市での観測結果から、冬季に日本に輸送される微量元素の発生源として中国での石

炭燃焼が大きく寄与していることを明らかにした。

さらに、講演者らは 2003 - 2005 年の 3 年間に、全国 10 地点に降水の自動サンプラーを設置することにより、日本における 11 微量元素の湿性沈着の実態を調べた。その結果、特に日本海側地点は中国大陸からの越境輸送の影響を強く受け、冬季に水銀を除く多くの微量元素の沈着フラックスと降水中濃度が著しく増加することを示した。しかし、水銀の湿性沈着には、主として大気中で安定なガス状金属水銀（平均滞留時間は約 1 年）のオゾン等による酸化で生成したガス状二価水銀が寄与しているため、中国大陸から輸送された水銀による直接的な寄与は小さいことがわかった。一方、中国大陸から越境輸送された微量元素による日本の水域環境への影響については、宍道湖の堆積物表層（1980 年以降）に鉛やカドミウム等の濃度上昇や鉛同位体比の変化が観測されたことから、すでに顕在化されていることが明らかとなった。

以上述べたように、本講演では、これまでに講演者らが行ってきた中国大陸からの微量元素の越境汚染研究で得られた結果を報告したい。

○ 海に排出された化学物質は日本に届いているの？

—中国大陸から排出される化学物質の日本周辺海域への越境移動—

北九州市立大学国際環境工学部 門上 希和夫

中国大陸から河川経由で排出される化学物質の日本周辺海域への影響を検討するため、大陸から東シナ海に流入する河川流量の 94 % を占める長江の化学物質汚染実態を調査した。2012 年 8 月（豊水期）と 2013 年 3 月（渇水期）に長江河口の 9 地点（表層と水深 5m）で河川水を採水し、新たに開発した 2 種の網羅分析と 2 種のターゲット分析を組み合わせて残留性有機化学物質、農薬および近年問題となっている新興汚染物質など約 1200 物質を分析した。

検出物質数は半揮発性化学物質(SVOC)が 947 物質中 143 種、水溶性化学物質(WSC)が 282 物質中 24 種であった。また、検出濃度は、SVOC が豊水期 0.78-4.34 $\mu\text{g/L}$ 、渇水期 0.26-2.48 $\mu\text{g/L}$ 、WSC が豊水期 0.20-0.32 $\mu\text{g/L}$ 、渇水期 0.53-4.78 $\mu\text{g/L}$ であった。主要汚染物質は、酸素、窒素または硫黄を含む化合物、農薬および動物用医薬品であり、用途別に見ると工業由来のアニリンなどの有機合成の中間体、農薬および動物医薬品などが年間を通して検出された。予測無影響濃度(PNEC)を用いた生態リスク初期評価の結果、豊水期のフェノブカルブ(殺虫剤)、4-クロロアニリン、渇水期のアニリンなど 6 物質の濃度が PNEC を超え、生態リスクの懸念が認められた。長江では、揚子江イルカの絶滅など生態系の変化が生じており、化学物質が原因の 1 つである可能性が考えられる。

調査対象物質の長江から東シナ海へ排出される年間排出量を河川流量と検出濃度から計算した結果、最低でも約 3600 トンの SVOC と約 860 トンの WSC、計 4442 トンが 1 年間に長江から東シナ海に流出していると推計された。東シナ海において長江の影響が最も大きいと考えられる地点では、その塩分濃度から豊水期には河川水が 1/11 を占めていると計算された。その為、東シナ海の化学物質濃度は、河川流量が最も大きい時期において長江濃度の 1/11 になると推定され、本調査で得られた濃度では生態影響を及ぼす可能性は低いと考えられた。ただ、長江では PNEC 情報が無いものの高濃度で検出される物質が存在し、今後の経済発展に伴う化学物質排出量の増大の可能性を考慮すると、長江経由の東シナ海及び日本周辺海域への化学物質汚染を継続的に調査することが必要であろう。

○ プラスチックといっしょに化学物質が移動？鳥や魚への蓄積は？

—海洋漂流プラスチック中の化学物質の存在・分布と海洋生物への移行—

東京農工大学農学部環境資源科学科 高田 秀重

陸上で使われたプラスチックの一部は処理やリサイクルされずに、ゴミとして陸上に投棄されています。プラスチックの多くは、ポリエチレンやポリプロピレンなど、水よりも軽いプラスチックです。これらの軽いプラスチックは風で飛ばされ、雨で洗い流され、川に流され、最後に海に流れ着きます。その途中や海の中で、細かくなり、プラスチック破片として海を漂っています。その一部は海岸に打ち上げられ、プラスチックゴミで足の踏み場もない海岸もあります。海洋に流入するプラスチックの量は全世界で数十万トンと推定されます。最近、大洋の真ん中にプラスチックゴミが溜まっている海域があることが、明らかにされ、世界的に問題になっています。北太平洋のプラスチックゴミだまりでは、浮いているプラスチック破片の量が自然のプランクトンの量よりも6倍も多いのです。このようなゴミだまりの広さは日本列島の10倍くらいの広さと言われています。

海を漂うプラスチックは海の生物に脅威になります。多くの海の生物がプラスチックを餌と間違えて誤飲・誤食したり、プラスチックに絡まっています。世界の海鳥のうち、21%の種、ウミガメの全ての種、海洋哺乳類のうち45%の種が、プラスチックに絡まったり、誤飲しています。当然、影響が考えられます。消化管がプラスチックで詰まること、栄養失調、消化管の内側がプラスチックで傷つけられる、などの物理的な障害が起こります。

しかし、問題は物理的な障害だけでなく、化学物質による毒性の影響が、懸念されています。プラスチックには、酸化防止剤、剥離剤、難燃剤、可塑剤など様々な添加剤が含まれています。それらの添加剤には環境ホルモンなどの有害化学物質も含まれています。添加剤は破片になってもプラスチックの中に残っています。北太平洋の真ん中に浮いているプラスチックからも、ノニルフェノール、ビスフェノールA、臭素化ジフェニルエーテルなどの有害化学物質が高濃度で検出されます。

海を漂うプラスチック破片には、添加剤以外にも有害な化学物質が含まれています。プラスチックが、周りの海水中から有害化学物質を引きつけてくるのです。海水中には私たち人間が造りだした様々な化学物質、そのなかでも分解されにくい物質が、低濃度ではありますが、溶けています。それらのなかには、生物に有害な影響をおよぼすものもあります。これらの化学物質は残留性有機汚染物質(POPs)として、ストックホルム条約という国際条約によって生産・使用が規制されています。POPsは油に溶けやすいという性質があります。そのため、魚や海鳥や海洋哺乳類などの海の生物の脂肪に濃縮されて、高濃度に濃縮されると、免疫力が低下したり、生殖に影響がきます。これらの有害な作用を持つPOPsをプラスチック破片は吸着しているのです。プラスチックはもともと油(石油)から作れており、まさに固体状の油です。そのため、POPsはプラスチックに強く引きつけられ、くっついていきます。プラスチックは周りの海水に比べて100万倍程度にPOPsを濃縮しています。

私たちは、世界各国のボランティアや研究者に呼びかけて、世界各地の海岸から海岸に落ちているプラスチックを東京農工大学に送ってもらい、その中のPOPsを分析するというプロジェクト(インターナショナルペレットウォッチ: <http://www.pelletwatch.org/>)を行っています。現在までに世界50カ国、200地点以上の分析を行いました。全ての試料からPOPsが検出されました。大陸から100km以上離れた離島でもプラスチックは見つかると、高濃度のPOPsを含んでいるプラスチックも観測され、人間活動のほとんど行われていない場所にも、プラスチックがPOPsを運んでいることも明らかになりました。

私たちの最新の研究では、海鳥に誤飲されたプラスチックから有害化学物質が溶け出し、海鳥の脂肪に濃縮されていることが明らかになりました。北太平洋のハシボソミズナギドリの胃の中に含まれていたプラスチックから臭素化ジフェニルエーテル（難燃剤の一種）が検出され、さらに、その難燃剤がハシボソミズナギドリの脂肪に蓄積していることが明らかになりました。この臭素系難燃剤は甲状腺ホルモンのバランスを崩すことが知られている物質、環境ホルモンの一種です。海を漂うプラスチック片は環境ホルモンの生物への運び屋になっているのです。

容器包装を中心として、不必要に使い捨てプラスチックが使われています。使い捨てのプラスチックを減らしていくだけでも、プラスチックによる環境汚染を抑えることができます。ほんの少しの利便性のために、将来の人類に汚染を残してよいのでしょうか？ペットボトルの飲みものを買う前、コンビニで弁当を買う前、スーパーでレジ袋をもらってしまう前に、もう一度、それがほんとうに必要なのか？環境汚染・環境負荷の少ない代替物はないのか？と考えていただきたいと思います。使い捨てプラスチックを減らしましょう。